

*ExFoS - Expert Forensic Science**XXIII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství**Brno 2014***TUHOSTNÍ CHARAKTERISTIKA PŘEDNÍ ČÁSTI VOZIDLA****STIFFNESS CHARACTERISTIC OF FRONT PART OF THE VEHICLE****Tomáš Coufal<sup>40</sup>****ABSTRAKT:**

*Doposud byla v oboru soudního inženýrství využívána pro popis tuhosti přední části vozidla pouze centrální tuhostní charakteristika, kterou bylo možné použít s dostatečnou přesností pro čelní nárazy vozidla s plným překrytím. Pokud však vozidlo narazí pouze s částečným překrytím má již centrální tuhostní charakteristika svá omezení v přesnosti výpočtu deformační energie. Předmětný článek pojednává o tuhostech jednotlivých partií přední části vozidla za účelem jejich využití ve znalecké praxi. Pro každou partii předmětného vozidla je zpracována příslušná tuhostní charakteristika, s pomocí které lze vypočíst deformační energii přesně pro konkrétní část vozidla, která je při čelním nárazu poškozena.*

**ABSTRACT:**

*So far, in the field of forensic engineering was used to describe the stiffness of the front part of the vehicle only central stiffness characteristic that can be used with sufficient accuracy for frontal crash with a full overlap. However, if the vehicle crashes with only partial overlap so can be central stiffness characteristic limitations in the accuracy of the calculation of the deformation energy. The present article deals with the stiffness of the each parts of the front part of the vehicle for their use in forensic expert practice. Stiffness characteristics was processed for each part of the vehicle, with which you can calculate the exact deformation energy for a specific front part of the vehicle which was damaged in a frontal collision.*

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

*Vozidlo, tuhost, forenzní vědy, deformační energie.*

**KEYWORDS:**

*Vehicle, stiffness, forensic science, deformation energy*

**1 ÚVOD**

Článek se zabývá problematikou deformačního chování jednotlivých partií přední části vozidla při čelním nárazu do překážky. Přední část vozidla je rozdělena do 36 jednotlivých zón, kdy každá zóna je charakterizována příslušnou tuhostní charakteristikou, která je zpracována s pomocí dat z čelní nárazové zkoušky vozidla do tuhé bariéry. Na základě této hypotézy lze přesněji určit deformační energii spotřebovanou při čelním nárazu vozidla s částečným překrytím jak šířkovým, tak výškovým.

**2 ZPRACOVÁNÍ TUHOSTNÍ CHARAKTERISTIKY S POMOCÍ DAT Z ČELNÍ NÁRAZOVÉ ZKOUŠKY**

Detailní tuhostní charakteristika přední části vozidla byla vytvořena pro osobní automobil Audi A4 modelový rok 2011 s využitím dat z čelní nárazové zkoušky s plným překrytím

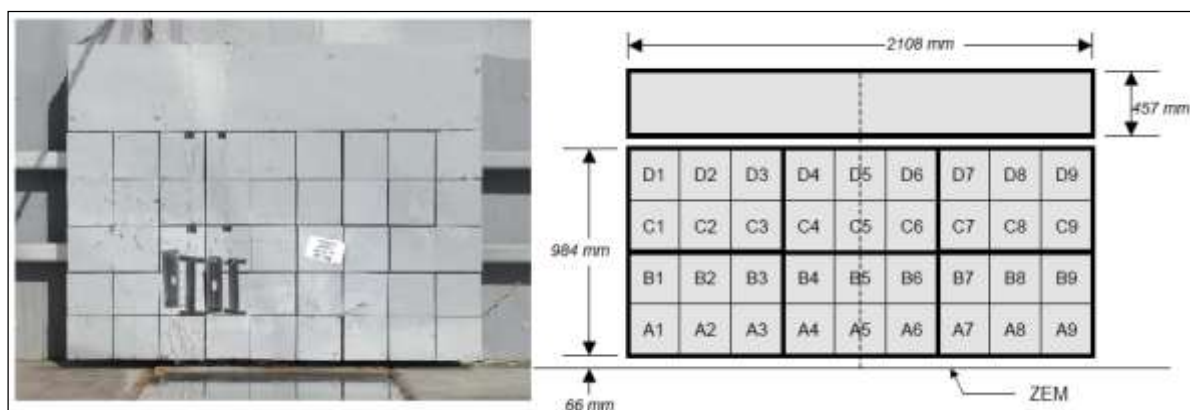
---

<sup>40)</sup> Coufal, Tomáš, Ing. – 1. autor, USI VUT v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno, [tomas.coufal@usi.vutbr.cz](mailto:tomas.coufal@usi.vutbr.cz)

prováděné při rychlosti přibližně 56 km/h do tuhé bariéry dle NCAP (New Car Assessment Program), viz obr. 1 a 2. Tuhá bariéra je osazena snímači síly v zónách A1 až D9. Zpracovaná data jsou čerpána ze zdroje [10].



**Obr. 1 – Čelní nárazová zkouška dle NCAP [9]**  
**Fig. 1 – Frontal crash test according to NCAP [9]**



**Obr. 2 – Testovací bariéra s rozdělením zón obsahujících snímače síly [9]**  
**Fig. 2 – Load cell barrier with individual zones [9]**

## 2.1 Zpracování záznamu z akcelerometru umístěném v automobilu

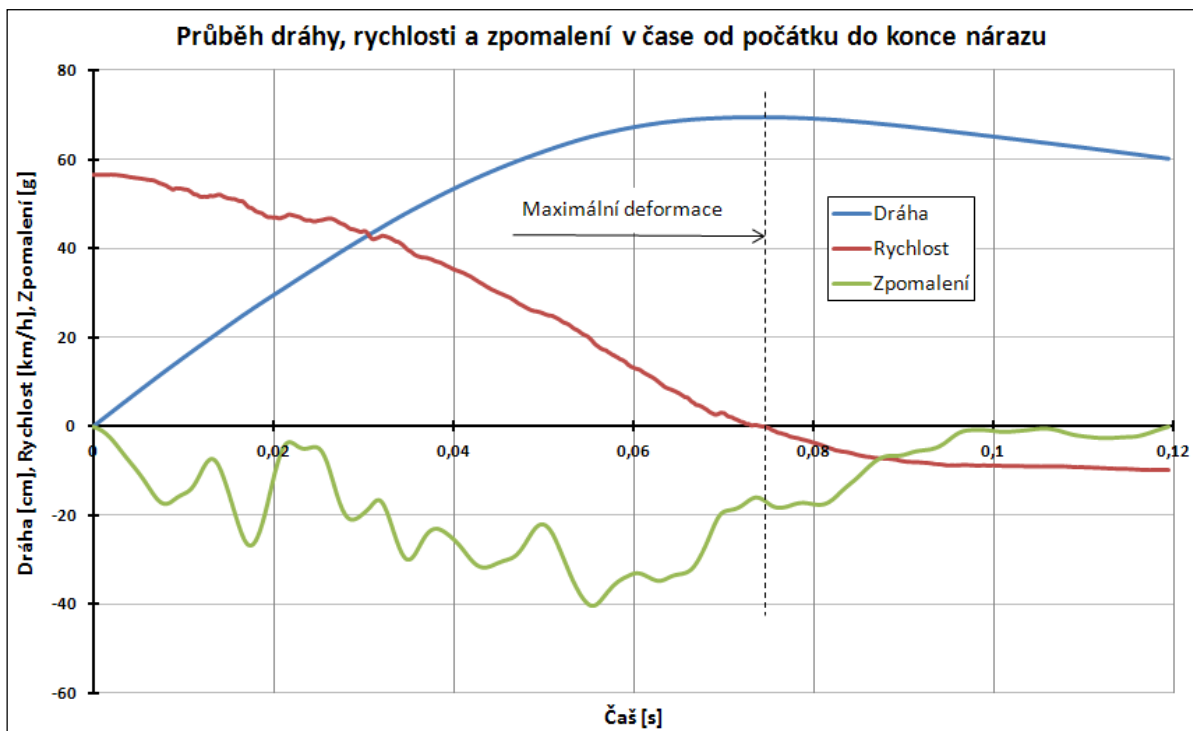
Zpracován byl záznam z akcelerometru pevně umístěném v zadní části karoserie vozidla. Integrací zpomalení podle času (vzorec 1) byl vypočten záznam rychlosti v čase a druhou integrací zpomalení podle času (vzorec 2) byl vypočten záznam dráhy v čase. Průběh dráhy, rychlosti a zpomalení v čase je zobrazen na obr. 3.

$$\vec{v}(t) = \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}(t) dt \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

$$s(t) = \int_{t_1}^{t_2} \int_{t_1}^{t_2} \vec{a}(t) dt dt \quad [\text{m}] \quad (2)$$

Kde:  $t_2 - t_1$  [s] - perioda s jakou je měřeno zpomalení,

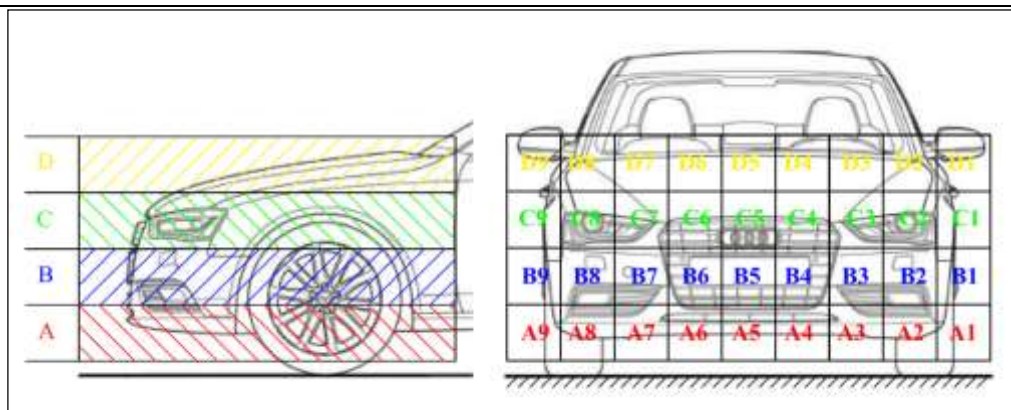
$a(t)$  [m/s<sup>2</sup>] - aktuální hodnota zpomalení v čase  $t$ .



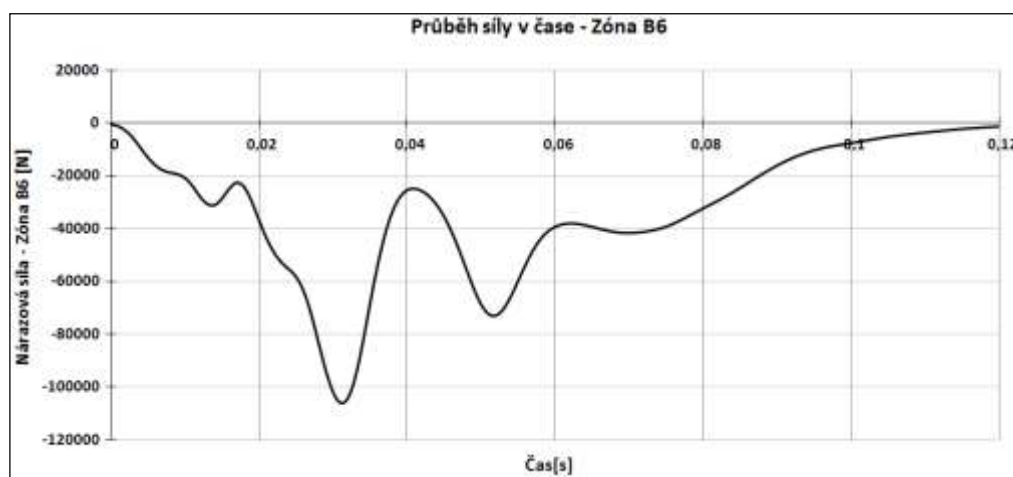
**Obr. 3 – Dráha rychlost a zpomalení během čelního nárazu**  
**Fig. 3 – Trajectory, speed and deceleration during the frontal impact**

## 2.2 Zpracování záznamu ze snímačů síly umístěných v bariéře

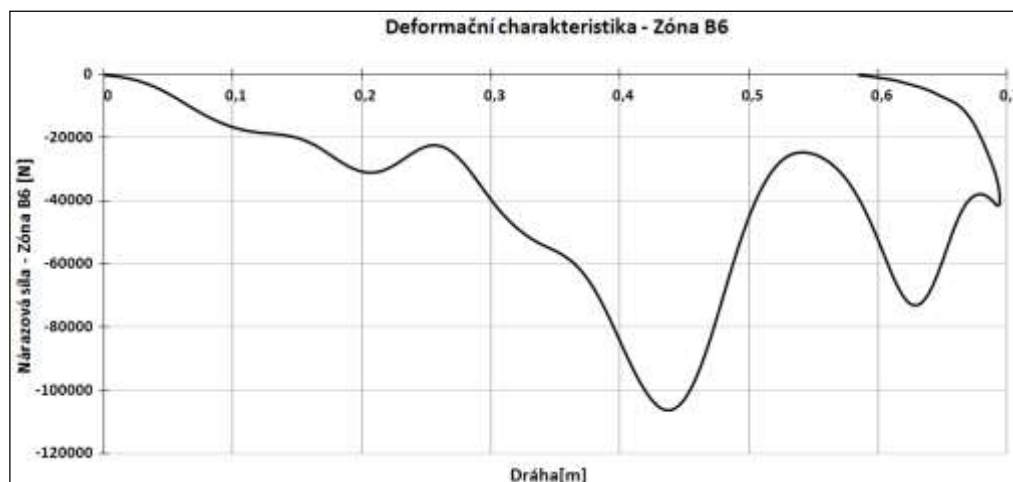
Zpracován byl záznam z jednotlivých snímačů síly umístěných v bariéře (A1 až D9 – celkem 36 zón), kdy každá zóna charakterizuje průběh síly v čase příslušné části vozidla během nárazu. Rozdělení jednotlivých zón na předmětném vozidle Audi A4 je znázorněno na obr. 4. Pro ilustraci je uvedeno zpracování záznamu průběhu síly ze zóny B6. Na obr. 5 je zobrazen záznam nárazové síly v čase příslušící předmětné zóně. Pro každou tuto zónu je dále zpracována tuhostní charakteristika příslušného sektoru přední části vozidla, viz obr. 6.



*Obr. 4 – Promítnutí zón A1 – D9 na vozidlo*  
*Fig. 4 – Projection of the A1 – D9 zones on the vehicle*



*Obr. 5 – Průběh nárazové síly v čase pro zónu B6*  
*Fig. 5 – Force in time curve of the B6 zone*



*Obr. 6 – Tuhostní charakteristika zóny B6*  
*Fig. 6 – Stiffness characteristic of the B6 zone*

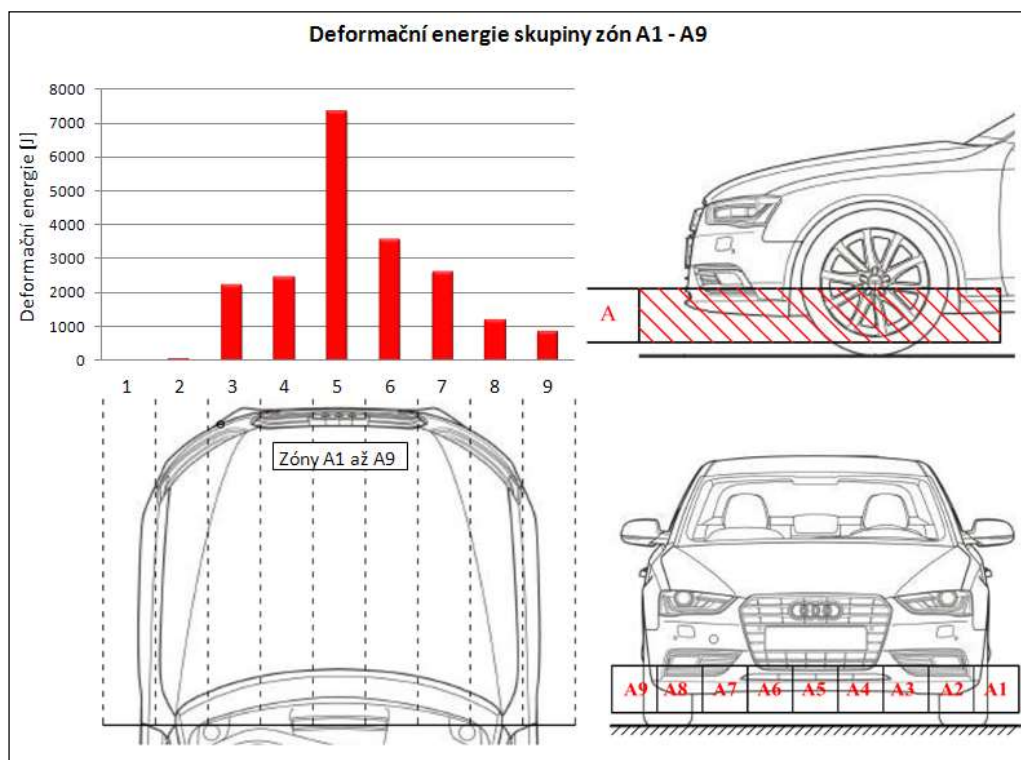


### 2.3 Vyhodnocení celkové deformační energie spotřebované jednotlivými zónami přední části vozidla při čelní nárazové zkoušce

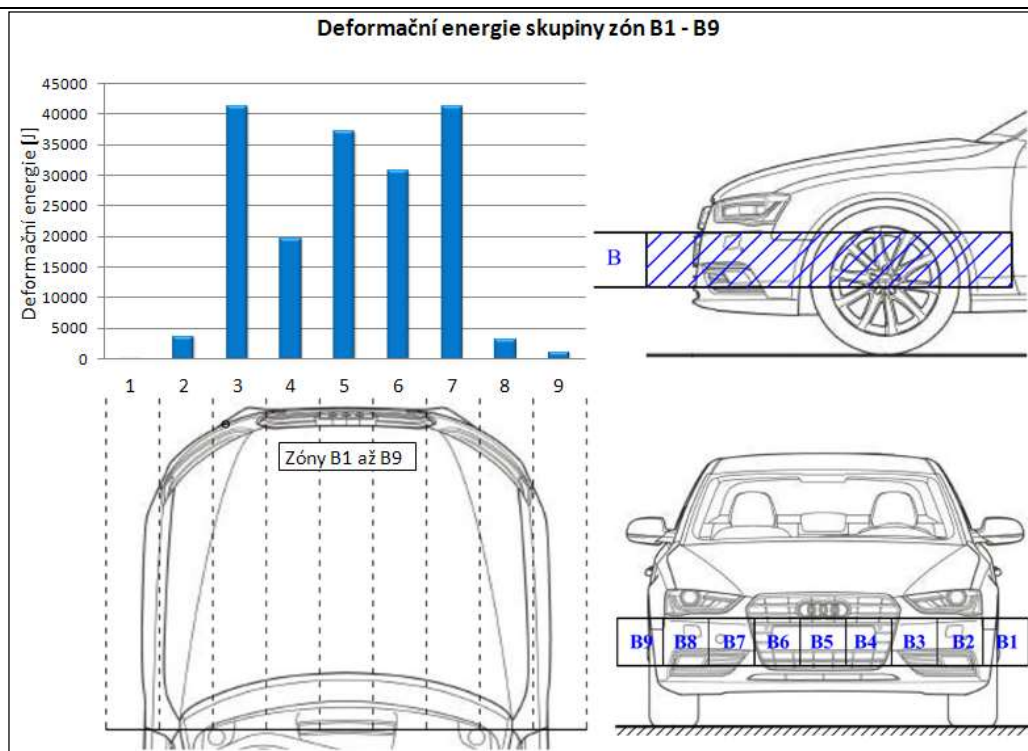
Na obr. 8 až 11 je znázorněno množství pohlcené deformační energie jednotlivými partiemi přední části vozidla při předemětném nárazovém testu včetně grafického znázornění lokací jednotlivých zón a jejich promítnutí na obrys vozidla. Z obr. 7 je zřejmá struktura uspořádání motorového prostoru, kde je podélně umístěn motor.



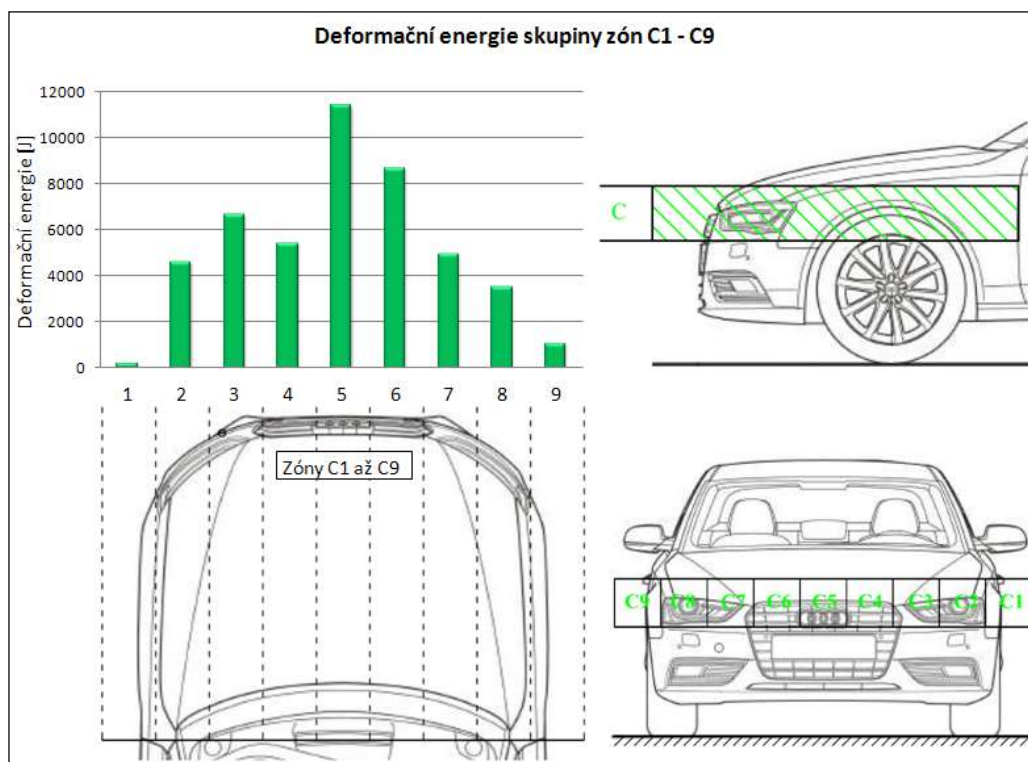
Obr. 7 – Struktura motorového prostoru před nárazem a po něm  
Fig. 7 – Structure of engine compartment before and after impact



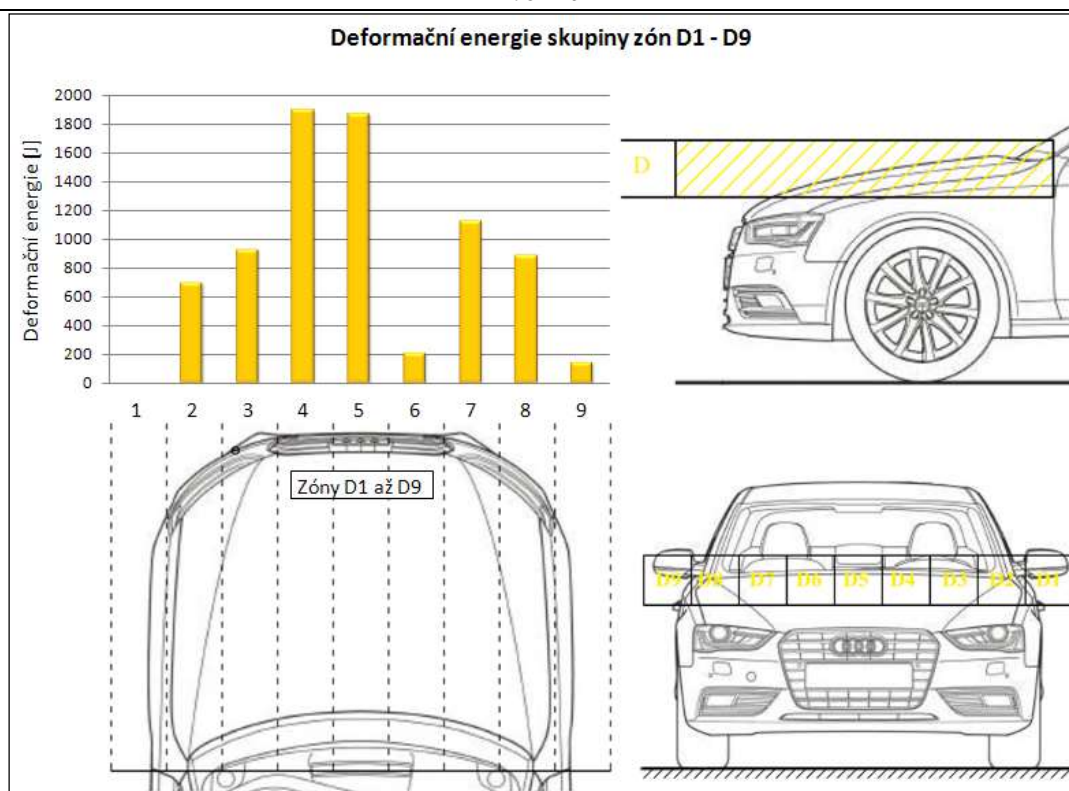
Obr. 8 – Deformační energie zón A1 - A9  
Fig. 8 – Deformation energy of the A1 - A9 zones



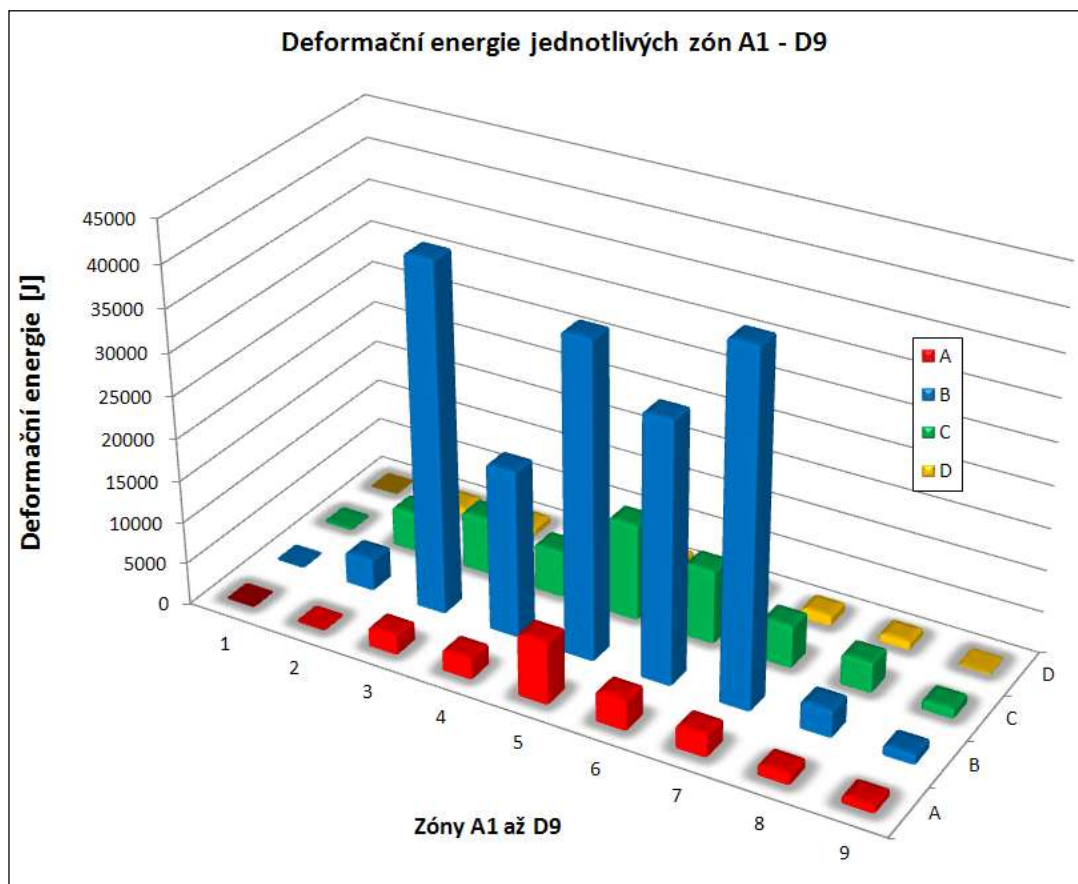
**Obr. 9 – Deformační energie zón B1 - B9**  
**Fig. 9 – Deformation energy of the B1 - B9 zones**



**Obr. 10 – Deformační energie zón C1 - C9**  
**Fig. 10 – Deformation energy of the C1 - C9 zones**

**Obr. 11 – Deformační energie zón D1 - D9****Fig. 11 – Deformation energy of the D1 - D9 zones**

Na obr. 12 je vyobrazena deformační energie zmařená při předmětném nárazovém testu ve všech 36 zónách A1 až D9. S výhodou lze v takovém zobrazení vzájemně porovnat tuhosti jednotlivých partií přední části vozidla. Je zřejmé, že nejtuhší partie přední části vozidla jsou v oblasti zóny B, z čehož lze vyvodit umístění hlavních podélných nosníků, příčné vzpěry a uchycení motoru s převodovkou. Z obr. 7 je zřejmé, že v oblasti 4 není umístěn žádný tuhý prvek, což je promítnuto do výsledné deformační energie, kde je zejména z obr. 9, 10 a 11 zřejmý výrazný propad pohlcené deformační energie touto oblastí.



**Obr. 12 – Deformační energie zón A1 - D9**  
**Fig. 12 – Deformation energy of the A1 - D9 zones**

## **1. PŘÍKLAD POUŽITÍ VÝPOČTU DEFORMAČNÍ ENERGIE VE ZNALECKÉ PRAXI**

Pro možnost využití dosažených výsledků ve znalecké praxi byl sestaven výpočetní program, jehož vstupními hodnotami jsou uživatelem zadané deformace v jednotlivých zónách A1 až D9 a směr nárazové síly, viz obr. 13. Programem je na základě tuhostních charakteristik jednotlivých zón vypočtena deformační energie zmařená deformačními zónami vozidla při nárazu. Dále je automaticky vypočtena enregetická ekvivalentní rychlost (Energy Equivalent Speed, dále jen EES).

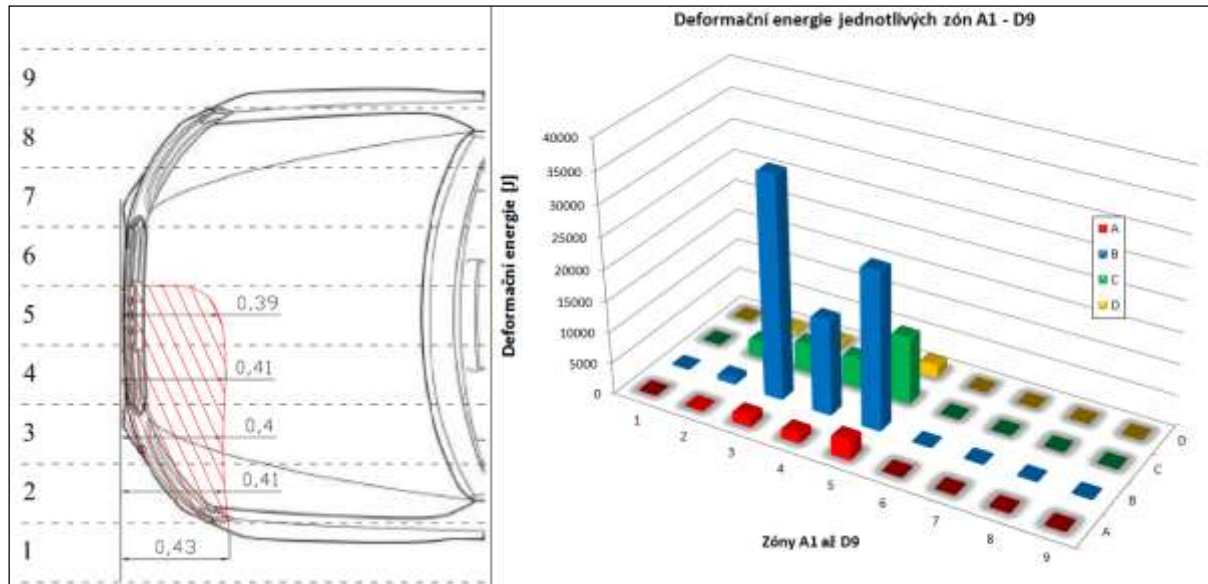
Jako příklad ukázky programu byl zvolen čelní náraz vozidla s cca 55% a hloubkou deformace zakótovanou v levé části obr. 15. Tyto deformace jsou zadány do programu, viz obr. 13 a v něm je spočtena příslušná deformační energie zmařená při nárazu a jí odpovídající EES. V pravé části obr. 14 je pak v 3D grafu znázorněno zmařené množství deformační energie jednotlivými zónami.



Vozidlo:	Audi A4 2011							
Zadej směr nárazové síly					v rozmezí			
					od	do	[°]	
0		[°]		0	60			
Zadej deformaci v metrech jednotlivých zón A1 - D9 v rozmezí [od] - [do] uvedeném v intervalu níže								
0	0		0			0		0
0.69	0.53		0.53			0.56		0.69
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
0.43	0.41	0.4	0.41	0.39	0	0	0	0
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
0.43	0.41	0.4	0.41	0.39	0	0	0	0
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
0.43	0.41	0.4	0.41	0.39	0	0	0	0
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
0.43	0.41	0.4	0.41	0.39	0	0	0	0
Výpočet	EES			Deformační energie E <sub>D</sub>				
	[m/s]		[km/h]		[J]			
	10.6		38.1		109900			

Obr. 13 – Výpočetní program EES a deformační energie

Fig. 13 – Computing programme of EES and deformation energy



Obr. 14 – Hloubka deformace vozidla a odpovídající deformační energie

Fig. 14 – The depth of vehicle deformation and corresponding deformation energy

### 3 ZÁVĚR

V článku je zpracována problematika týkající se tuhosti jednotlivých částí vozidla Audi A4, modelový rok 2011, která je vypočtena na základě dat z reálného nárazového testu (čelní náraz rychlostí cca 56 km/h do tuhé bariéry). Přední část předmětného vozidla je rozdělena do 36 jednotlivých zón (viz obr. 4), kdy každá z těchto zón je charakterizována příslušnou tuhostí (viz obr. 6 pro zónu B6), s pomocí které lze na základě odměřené deformace na havarovaném vozidle určit deformační energii (deformační energie je rovna ploše nad křivkou v tuhostní charakteristice) zmařenou deformačními zónami při střetu s překážkou. Výhodou takového rozdělení je získání jednotlivých tuhostí pro každou z 36 předmětných zón, což umožňuje výpočet deformační energie i při střetech s částečným překrytím jak výškovým, tak šířkovým. Na obr. 8 až 11 je znázorněno množství zmařené deformační energie v jednotlivých zónách A1 až D9 při prováděném nárazovém testu. Je zřejmé, že hlavní bezpečnostní prvky mající za úkol zpomalení vozidla při nárazu jsou umístěny ve výškovém horizontu skupiny zón B. Z obr. 9 je na základě množství pohlcené deformační energie zřejmé, že v zóně B3 a B7 jsou umístěny hlavní podélné nosníky mající za úkol ochranu posádky při čelním nárazu vozidla. Na obr. 8 až 11 si lze dále povšimnout kumulace deformační energie ke středu vozidla což je způsobeno jednak příčnou vzpěrou umístěnou mezi podélnými nosníky, ale také umístěním motoru a převodovky v této oblasti. Obr. 12 potom znázorňuje celkové rozdělení deformační energie celé přední části vozidla.

V kapitole 3 je uveden příklad využití dosažených výsledků ve znalecké praxi. S pomocí zpracovaných tuhostí byl vytvořen výpočetní program, který na základě uživatelem zadané deformace přední části vozidla vypočte deformační energii zmařenou při nárazu a EES, viz obr. 13. Na obr. 14 je pak vyobrazeno poškození vozidla a rozdělení deformační energie odpovídající uživatelem zadané deformaci.

### 4 LITERATURA

- [1] BRADÁČ, A. a kol. *Soudní inženýrství*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9.
- [2] BURG, H. *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*. Wiesbaden 2007. 952 s. ISBN 3-8348-0172-0.
- [3] BURG, H.; RAU, H. *Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion*. Kippenheim 1981. 838 s. ISBN 3-88550-020-5.
- [4] CICHOS, D.; et al. *Crash Analysis Criteria Description*. Data Processing Vehicle Safety Workgroup. In [online]. Vyd. 2. Germany. 2006. 142 s. Dostupné z WWW: <<http://www.crash-network.com/Download/download.html>>.
- [5] HARMATI, I; VÁRLAKI, P. *Identification of Energy Distribution for Crash*. Acta Polytechnica Hungarica. Hungary 2007, Vol. 4, No. 2, s. 19-28.
- [6] KASANICKÝ, G. *Teória pohybu a rázu pri analýze a simulácii nehodového děja*. Žilina : EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2001. 350 s. ISBN 80-7100-597-5.
- [7] MCHENRY, B. G. *The algorithms of crash*. McHenry Software, Inc. In [online]. USA 2001, 42 s. Dostupný také z WWW: <<http://www.mchenrysoftware.com>>.
- [8] MELEGH G.: *AutoExpert - CD EES 4.0*, Hungary 2005 – katalog EES vozidel.

- [9] NEW CAR ASSESSMENT PROGRAM (NCAP). *2011 AUDI A4 2.0 TFSI QUATTRO TIPTRONIC. REPORT NUMBER: NCAP-KAR-11-015*. In [online]. USA 2011. [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>>.
- [10] NHTSA. *Vehicle Crash Test Database*. In [online]. USA 2011. [cit. 2011-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>>.
- [11] STEFFAN H.: *PC CRASH - Simulation program for Vehicle Accidents, Technical manual*, DATENTECHNIK, 2001.
- [12] VANGI, D; BEGANI, F. *The Triangle Method for Evaluation*. 19th EVU Congress. 2010, 19, 1, s. 265-299. ISBN 978-80-7399-128-9.
- [13] *Virtual Crash* [online]. 2011 [cit. 2011-09-09]. EES katalog. Dostupné z WWW: <<http://www.ees-catalog.com>>.